

KEMUNDURAN KESEGARAN SELAMA PERKEMBANGAN CHILLING INJURY PADA PENYIMPANAN DINGIN BUAH TOMAT

Deterioration of Freshness During the Chilling Injury Progression in Cold Storage of Tomato

Putri Wulandari Zainal^{1*}, Daimon Syukri¹, Irfan Suliansyah², Khandra Fahmy¹

¹ Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, 20362, Indonesia

² Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, 20362, Indones

Email: putriwulandariz87@gmail.com

ABSTRAK

Kesegaran merupakan istilah yang digunakan untuk mendefinisikan kondisi produk segar seperti buah dan sayur mendekati kondisi setelah panen. Parameter yang paling sering digunakan untuk menilai kesegaran di tingkat distributor, pasar atau supermarket adalah warna, aroma, mengkilat, dan kekerasan. Akan tetapi variable lainnya seperti kebocoran ion yang disebabkan oleh kerusakan dingin belum menjadi perhatian saat ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kemunduran kesegaran buah tomat berdasarkan perkembangan kerusakan dingin selama penyimpanan dingin. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa berdasarkan produksi CO₂ dan perubahan warna, buah tomat yang disimpan pada suhu 2°C tidak mengindikasikan terjadinya kemunduran kesegaran karena produksi CO₂ yang rendah yaitu 0,2 di awal penyimpanan dan dapat dipertahankan menjadi rendah sekitar 0,5 mmol kg/jam hingga hari ke 27 penyimpanan. perubahan warna menunjukkan warna tidak berubah menjadi warna merah pekat di hari ke Sembilan. Berdasarkan kebocoran ion, kerusakan dingin telah terjadi yang ditandakan dengan persentase kobocoran ion yang tinggi pada hari ke-27.

Kata kunci— *chilling injury*; fisiologi; kebocoran ion; kesegaran

ABSTRACT

Freshness is a term used to define the condition of fresh products such as fruits and vegetables approaching after harvest condition. The primary parameters utilized to assess freshness at the distributor and market segment are color, aroma, glossiness, and firmness. Nevertheless, other factors, such as ion leakage resulting from chilling injury, have not been addressed at this moment. The aim of this study was to identify the deterioration of the freshness in tomatoes due to the chilling injury progression. Research indicated that tomatoes stored at 2°C exhibited no deterioration in freshness based on the CO₂ production and color changes. The initial CO₂ at 2°C production was 0.2 mmol kg/hour and remained low, approximately 0.5 mmol kg/hour, until the 27th day of storage. The color alterations indicated that it did not change to a deep red hue on the ninth day. However, a high percentage of ion leakage on the 27th day indicated the occurrence of chilling injury symptoms.

Keywords — *chilling injury*; freshness; ion leakage; physiology

PENDAHULUAN

Buah-buahan dan sayuran merupakan produk pertanian yang memiliki umur simpan yang pendek dibandingkan dengan produk pertanian lainnya seperti biji-bijian. Hal ini dikarenakan produk segar masih melakukan proses metabolisme setelah panen sehingga proses pematangan dan penuaan akan berlangsung selama penyimpanan. Proses ini selain memberikan keuntungan bagi produk juga memberikan kerugian seperti degradasi kualitas. Cepat atau lambatnya degradasi kualitas bergantung pada proses respirasi pada produk segar karena respirasi berlanjut setelah panen dan berkorelasi dengan proses metabolisme dimana semakin tinggi tingkat respirasi maka metabolisme akan semakin meningkat. Techavuthiporn et al. (2008) menyatakan bahwa kehilangan ascorbic acid brokoli berbanding lurus dengan meningkatnya respirasi selama penyimpanan. Hal ini juga di dukung oleh penemuan Zainal et al. (2023) pada penyimpanan kubis. Dimana pada penyimpanan produk ini degradasi kualitas kubis juga dipengaruhi oleh proses respirasi serta tingginya proses respirasi sejalan dengan meningkatnya suhu penyimpanan.

Penyimpanan suhu dingin merupakan salah satu metode penyimpanan produk pascapanen yang telah digunakan sejak lama. Metode ini telah dibuktikan oleh berbagai peneliti untuk dapat menekan laju respirasi sehingga dapat memperpanjang umur simpan produk segar. Villatoro et al. (2008) mengatakan bahwa apel yang disimpan pada suhu 1 °C dapat bertahan selama 27 minggu dibandingkan pada penyimpanan suhu 20°C. Hal ini dikarenakan suhu dingin dapat menekan proses metabolisme yang berhubungan dengan degradasi volatile yang berkorelasi dengan aktifitas enzim. Akan tetapi, pada penyimpanan dingin memiliki beberapa permasalahan seperti kerusakan dingin.

Kerusakan dingin atau lebih populernya dengan sebutan *chilling injury* (CI) merupakan kelainan fisiologis yang terjadi pada produk segar yang disimpan pada suhu dingin tetapi bukan suhu beku. Buah dan sayuran yang rentan terhadap penyimpanan dingin biasanya berasal dari daerah subtropis dan tropis seperti pisang, alpukat, nenas, tomat, pepaya, peach, apel, pear, dan kedelai (Patel & Patel, 2016). Buah dan sayur yang tumbuh kembang pada daerah subtropis dan tropis memiliki suhu sensitive dibawah 12 °C dimana produk segar ini akan rentan terkena CI jika di simpan pada suhu tersebut. Fenomena gejala CI akan berkembang secara perlahan dari hari ke hari dan akhirnya terlihat secara fisik saat produk dikeluarkan pada suhu ruangan. Adapun gejala CI pada beberapa komoditas adalah pemasakan tidak merata, gagal matang, *pitting*, lekukan air atau bercak bawah (*water soaked*), warna yang tidak berkembang, rasa dan aroma yang tidak berkembang, kulit menjadi coklat (Paull & Jung Chen, 2000; Sargent & Moretti, 2016). Gejala CI ini menimbulkan kemunduran parameter kualitas yang berdampak pada penerimaan konsumen sehingga dapat menyebabkan kerugian ekonomi pada distributor dan retail.

Tingkat keparahan cedera atau gejala CI tergantung dari faktor faktor intrinsik dan ekstrinsik. Faktor intrinsik seperti kultivar dan paparan stress sebelumnya sedangkan faktor ekstrinsik seperti tingkatan suhu dingin, lama paparan suhu dingin, kondisi kelembaban penyimpanan, tingkat cedera mekanis saat proses pascapanen (Luengwilai et al., 2012). Fenomena CI pada penyimpanan dingin ini selalu digali oleh para peneliti untuk dapat menekan terjadinya gejala. Hal ini dikarenakan penyimpanan dingin tidak dapat dihindarkan untuk dapat memperlambat aktivitas metabolisme yang dapat memperpanjang umur simpan produk segar. CI telah dikenal, di deskripsikan, dan dipelajari selama lebih dari 100 tahun namun penyebab utama perkembangan gejala dingin masih belum terselesaikan. Dengan adanya permasalahan ini maka pemahaman perkembangan gejala CI harus di pelajari satu persatu. Hal utama yang dapat dilakukan adalah memahami perubahan fisiologi seperti respirasi dan perubahan warna selama terjadinya perkembangan CI. Dalam penelitian ini difokuskan kepada pembahasan tentang laju perubahan respirasi, warna serta progress terjadinya kebocoran ion pada dua tingkatan suhu yaitu 20°C dan 2°C. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kemunduran kesegaran buah tomat melalui parameter fisiologis seperti laju produksi CO₂, warna, dan kebocoran ion (*ion leakage*) yang berhubungan dengan CI. Dari penelitian ini diharapkan dapat membantu pada peneliti dalam memahami terjadinya kemunduran parameter fisiologis sehingga dapat dijadikan sebagai tolak ukur untuk menilai tingkat kesegaran buah tomat yang disimpan pada suhu dingin. Selain itu, pemahaman tentang karakteristik kemunduran kesegaran dapat membantu dalam pengambilan keputusan pada buah seperti tomat yang sensitive terhadap suhu dingin sehingga dapat menekan terjadinya gejala CI.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Persiapan Penelitian

Tomat segar di panen di kebun petani di Gifu, Jepang, pada bulan Juli 2022 dan diangkut ke laboratorium dengan layanan pengiriman berpendingin di hari yang sama. Segera setelah pengiriman, di cuci menggunakan air mengalir dan dikering anginkan menggunakan suhu ruangan sehingga dapat memudahkan tahapan sortasi dan grading. Pertama dilakukan sortasi berdasarkan keseragaman warna dan tidak adanya gejala luka. Penilaian keseragaman warna dilakukan menggunakan color mater sehingga pengelompokan dilakukan berdasarkan nilai a/b. kemudian dilakukan grading berdasarkan berat buah menggunakan timbangan. tomat yang digunakan untuk penelitian adalah tomat yang berada pada tingkat kematangan 4 atau sering disebut kelompok *Pink*.

B. Tahapan Penelitian

Sebanyak 55 buah tomat digunakan dalam penelitian ini. Dua puluh buah akan digunakan untuk setiap penyimpanan suhu 20°C dan 2°C dan lima buah tomat digunakan untuk pengukuran parameter mutu pada hari ke 0. Selain itu, 10 buah tomat akan digunakan untuk pengukuran respirasi selama penyimpanan. Pada suhu 20°C buah akan disimpan selama 9 hari dan buah yang disimpan pada suhu 2°C akan disimpan selama 27 hari. Hari pengamatan untuk tomat yang disimpan pada suhu 20 °C selama 0, 3, 5, 7, 9 hari dan suhu 2 °C selama 0, 3, 5, 7, 27 hari. Setiap unit percobaan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Buah tomat disimpan menggunakan kotak polistirena berbusa dan disimpan dalam inkubator. Kelembaban relatif (RH) di dalam kotak dijaga pada 92–95% karena ditutup dengan penutup untuk menghindari angin langsung dari inkubator. Setiap hari penyimpanan akan dilakukan pengamatan warna dan kebocoran ion.

C. Parameter Pengukuran

1. Respiration rate

Laju respirasi pada buah tomat diukur menggunakan metode terbuka (flow-through method) menggunakan *Gas Chromatography* (GC) yang telah dijabarkan oleh (Zainal et al., 2023) dengan beberapa modifikasi. Pada pengukuran laju respirasi ini, sebanyak ± 700 gram tomat diletakkan di dalam acrylic chamber (4,8 L). Chamber ini dilengkapi oleh pipa inlet dan outlet sebagai tempat keluar dan masuknya udara dari kompresor dan hasil respirasi. Dua set chamber di letakkan kedalam masing-masing incubator dengan setingan suhu 20°C dan 2°C. Kelembaban (RH) didalam chamber dijaga 92-95% dan aliran rata-rata gas dikontrol menggunakan *flow controller* (SEF-E40, Horiba, Japan). Selanjutnya, gas inlet dan outlet di inject secara otomatis kedalam GC (GC-2014, Shimadzu, Kyoto, Japan). Setelah pengukuan maka kalkulasi laju respirasi dilakukan menggunakan Persamaan (1) yang telah di deskripsikan oleh (Fonseca et al., 2002).

$$R_{CO_2} = \frac{y_{CO_2}^{out} - y_{CO_2}^{in}}{100} \times \frac{F}{W} \times \frac{P}{RT} \times 10^3 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana R_{CO_2} adalah produksi CO₂ dari buah tomat (mmol kg⁻¹ h⁻¹), y_{CO_2} is volum konsentrasi dari inlet and outlet (%), W is berat tomat (kg), F laju aliran (ml h⁻¹), P tekanan atmosfer (=101.3 kPa), R adalah gas konstanta (=8.3141 J K⁻¹ mol⁻¹), and T temperature absolut (K).

2. Parameter warna

Perubahan buah warna tomat selama oenyimpanan suhu dingin diukur dengan menggunakan Minolta CR 20 chromameter (Minolta Corp Japan) dalam CIE L*, a*, b* chromatic. Nilai warna yang diambil untuk melihat perubahan warna buah tomat adalah a/b. Pengukuran warna akan dilakukan menggunakan lima kali ulangan untuk setiap sample dan dianalisis untuk setiap kondisi penyimpanan.

3. Parameter kebocoran ion

Parameter kebocoran ion pada buah tomat diukur denngan menggunakan metode yang telah dijelaskan oleh (Saltveit, 2002) dengan modifikasi. Bagian mesocarp buah tomat yang diambil dari tiga bagian di lubangkan menggunakan stainless *steel cork borer* dengan diameter 5 mm dan ketebalan 4mm. Kepingan tomat tersebut di cuci sebanyak tiga kali selama 3 menit untuk setiap kali pengulangan menggunakan air deionised. Kemudian kepingan tersebut dimasukkan kedalam tabung sentrifuge 50 ml dengan 20 ml dari 0,2 M mannitol. Tabung tersebut akan di guncang (*shake*) menggunakan *water bath incubator* (Personal-11, TAitec, Japan) selama 2 jam dengan 100 cycles/min. Pengukuran konudktivit sampel dilakukan setelah 2 jam. Setelah itu tabung dimasukkan kedalam freezer dan disimpan 24 jam. Kemudian sample di thawing menggunakan air panas dan di shaking selama 30 menit dan konduktiviti total dihitung menggunakan conductivity meter (ES-51, Horiba, Japan). Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2).

$$Ec (\%) = \frac{Es \left(\frac{\mu S}{cm} \right) - Emannitol \left(\frac{\mu S}{cm} \right)}{ET \left(\frac{\mu S}{cm} \right) - Emanitol \left(\frac{\mu S}{cm} \right)} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

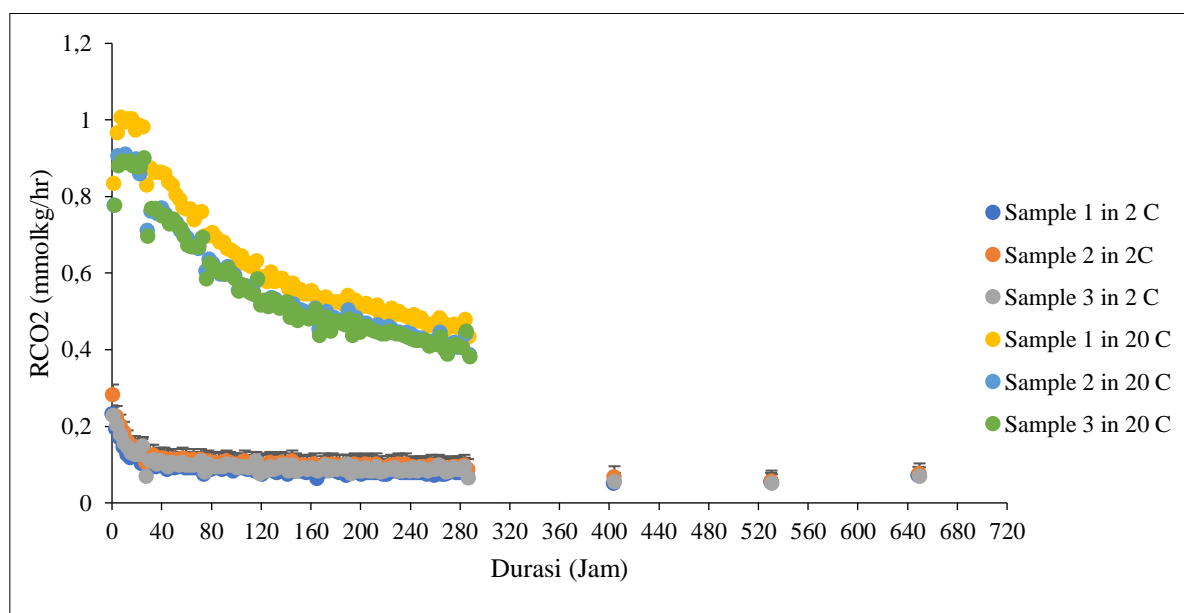
D. Analisis Data

Dalam analisis kemunduran parameter fisiologis selama penyimpanan digunakan analysis of variance (ANOVA) karena parameter perlakuan terdiri dari dua parameter dan berdasarkan data yang dihasilkan termasuk data terdistribusi secara normal dan jumlah data yang melebihi dari 50 data. Setelah dilakukan uji ANOVA dilakukan uji lanjut DUNCAN untuk data yang memiliki nilai sig < 0.05.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Laju Respirasi

Pada Gambar 1 disajikan perubahan tingkat produksi CO₂ pada penyimpanan buah tomat suhu 20°C dan 2°C. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa produksi CO₂ pada penyimpanan suhu 20°C adalah 0,8 – 0,4 mmol.kg/jam sedangkan penyimpanan suhu 2°C produksi CO₂ terjaga antara 0,2 – 0,05 mmol.kg/jam. Hal ini menandakan bahwa penyimpanan pada suhu dibawah 12°C memiliki produksi CO₂ yang lebih rendah dibandingkan penyimpanan pada suhu 20°C. Fenomena ini membuktikan bahwa penyimpanan suhu rendah dapat menekan laju respirasi sehingga dapat mengurangi terjadinya kemunduran fisiologi sehingga dapat memperpanjang umur simpan produk segar seperti tomat.



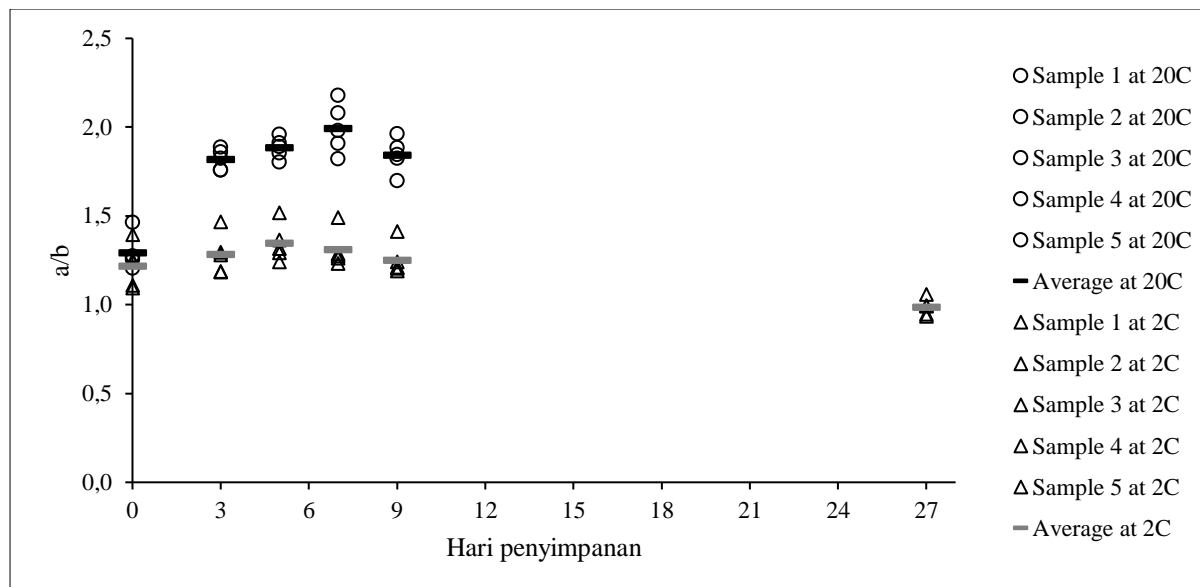
Gambar 1. Total Produksi CO₂ buah tomat yang disimpan pada suhu 2°C dan 20°C

Menurut Kader (2002) laju respirasi pada produk segar setelah panen diklasifikasikan menjadi 6 group dan tomat dikategorikan moderate level. Laju respirasi atau tingkat produksi CO₂ merupakan parameter yang penting bagi produk hortikultura karena parameter ini telah sejak lama terbukti memiliki korelasi yang kuat terhadap degradasi kualitas selama penyimpanan. Zainal et al. (2023) telah menggunakan tingkat produksi CO₂ untuk menjadi tolak ukur dalam menilai kesegaran kubis selama penyimpanan. Tingkat produksi CO₂ ini dikorelasikan dengan lipidomic profiling dalam menilai kesegaran tersebut. Selain itu, Brash et al. (1995) telah mengungkap kumulatif produksi CO₂ selama penyimpanan asparagus memiliki korelasi negative yang kuat pada penyimpanan 20°C. Techavuthiporn 2008 telah membuktikan bahwa kehilangan asam askorbat pada brokoli telah menjadi parameter kualitas yang penting dan perubahan parameter ini dapat diprediksi menggunakan model dimana kumulatif respirasi CO₂ dijadikan sebagai fungsi x.

B. Perubahan warna

Warna merupakan salah satu indikator kualitas produk segar berdasarkan tampilan fisik (*appearance*) yang dianggap sebagai cerminan dari kesegaran oleh konsumen saat di pasar. Indikator kualitas yang berkaitan erat dengan kesegaran selain warna adalah kekerasan, cacat atau luka serta glossy yang merupakan parameter tampilan fisik (*appearance*) (Barrett et al., 2010). Pada buah tomat,

saat masih muda berwarna hijau karena mengandung klorofil. Seiring dengan pematangan, klorofil terdegradasi menjadi karotenoid seperti likopen dan beta-karoten yang memberikan warna kuning, orange, atau merah (Khoo et al., 2011).



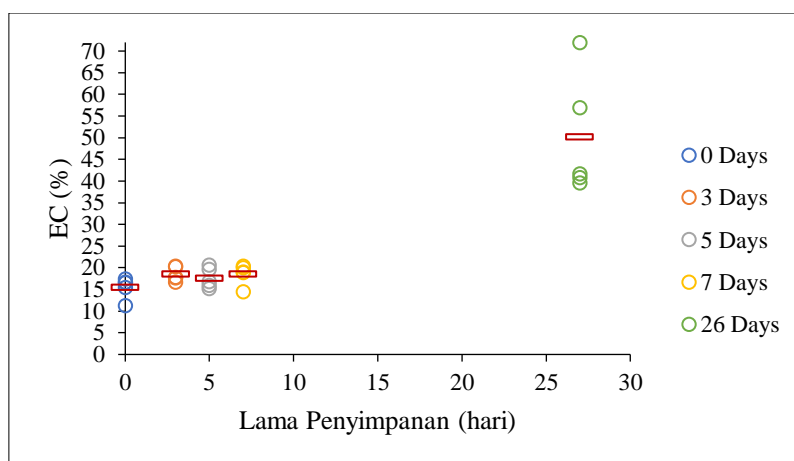
Gambar 2. Perubahan rasio warna buah tomat yang disimpan pada suhu 2°C dan 20°C

Pada penelitian ini, selama pematangan, tomat yang disimpan pada suhu 20°C selama sembilan hari memiliki perkembangan rasio a/b sebesar 1,2 (hijau matang) hingga 1,8 (merah terlalu matang) sedangkan tomat yang disimpan pada suhu 2°C tidak mengalami perubahan rasio a/b yang besar yaitu hanya perbedaan 0,03 (Gambar 2). Hal ini sejalan dengan hasil uji statistika ($p < 0,05$) dimana suhu penyimpanan memiliki pengaruh yang signifikan pada nilai rata-rata untuk parameter perubahan rasio warna buah tomat. Perkembangan warna yang terjadi pada tomat yang disimpan pada suhu 20°C secara komersial dianggap dapat diterima (Artes & Escriche, 1994). Sesuai dengan hasil yang ditemukan oleh Efiuvwevwe & Thorne (1988), mengalami perubahan rasio yang cukup besar pada tomat yang disimpan pada suhu 19°C.

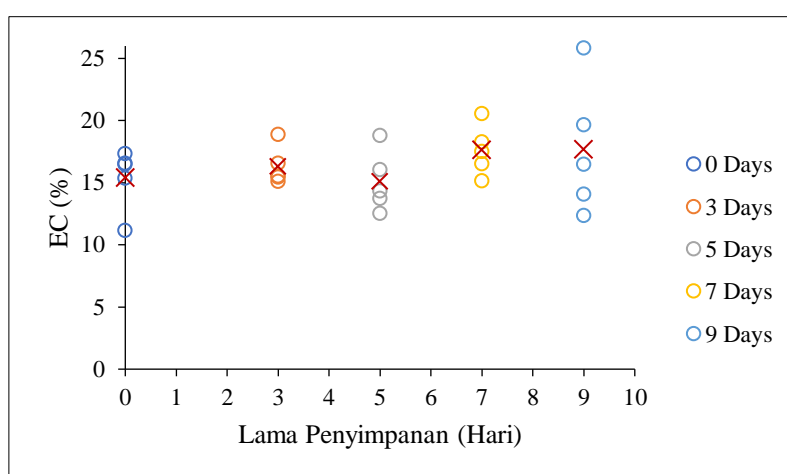
C. Kebocoran Ion

Kebocoran ion merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengindikasikan telah terjadinya kersakan dingin pada buah dan sayuran yang sensitive terhadap kersakan dingin atau sering disebut sebagai istilah *chilling injury* (CI). Tingkat kerusakan CI tergantung pada suhu penyimpanan dan lama pemaparan karena setiap jenis komoditi memiliki rentang suhu sensitive dan lama pemaparan yang berbeda-beda. Kebocoran ion yang melekat dengan terjadinya peningkatan permeabilitas membrane sehingga berhubungan dengan peningkatan kebocoran konstituen seluler. Saat pengamatan parameter CI pada penelitian mencerminkan tingkat kebocoran ion dari jaringan buah yang telah dipotong dan dimasukkan ke dalam larutan isotonik sehingga persentase perpindahan cairan ini akan digunakan sebagai variabel untuk mengetahui tingkat keparahan dari permeabilitas jaringan buah (Fahmy et al., 2015; Saltveit, 2005).

Pada Gambar 3 dapat terlihat bahwa peningkatan persentase kebocoran ion lebih tinggi terjadi pada buah tomat yang disimpan pada suhu 2°C. Hal ini sejalan dengan hasil uji statistika ($p \leq 0,05$) bahwa suhu penyimpanan memiliki pengaruh yang nyata terhadap laju terjadinya kebocoran ion. Penyimpanan buah dan sayuran pada suhu yang lebih rendah merupakan trik pascapanen untuk dapat memperpanjang umur simpan. Akan tetapi, penyimpanan beberapa produk pertanian yang sensitive terhadap suhu yang terlalu dingin akan menyebabkan kerusakan dingin yang dibuktikan dengan tingginya persentase kebocoran ion pada penelitian ini. Munculnya ciri-ciri kebocoran ion juga berhubungan dengan tingkat kesegaran buah tomat. Kesegaran suatu produk pertanian tidak hanya dicerminkan pada faktor fisik seperti warna, kekerasan, mengkilat, dan mengkerut. Indikasi kebocoran ion yang erat hubungannya dengan CI juga dapat dikorelasikan dengan hilangnya kesegaran buah tomat.



(a)



(b)

Gambar 3. Perubahan persentase kebocoran ion (*electrolyte leakage*) yang disimpan pada suhu (a) 2°C dan (b) 20°C

Peningkatan kebocoran ion sangat tinggi terjadi pada suhu 2°C, sedangkan buah yang disimpan pada suhu 20°C tetap berada tingkat yang sama. Disisi lain, perubahan ratio warna yang tinggi terjadi pada suhu 20°C dan buah yang disimpan pada suhu 2°C memiliki ratio yang rendah dan cenderung tetap. Dari sisi produksi CO₂, buah yang disimpan pada suhu 2°C memiliki produksi CO₂ lebih rendah dibandingkan 20°C. Secara perubahan warna dan produksi CO₂, suhu 2°C merupakan tempat penyimpanan yang lebih ideal tetapi tantangan yang terjadi adalah kebocoran ion yang menjadi kerusakan pascapanen. Karena kebocoran elektrolit berhubungan dengan stres oksidatif, yang meningkat sebagai respons terhadap penyimpanan pada suhu rendah, maka kebocoran elektrolit dapat menyebabkan gagal matang yang dicirikan dengan tidak berubah menjadi warna merah menyala, rasa menjadi tetap asam, serta adanya ciri-ciri seperti cengkungan air. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa buah tomat telah mengalami penurunan kesegaran sehingga tidak memiliki nilai jual di kalangan konsumen.

KESIMPULAN

Dalam penelitian, telah dilakukan investigasi kesegaran pada buah tomat berdasarkan parameter produksi CO₂, perubahan warna, dan kebocoran ion. Dari parameter ini, kebocoran ion dapat dijadikan acuan yang lebih baik untuk dapat mengindikasikan kemunduran kesegaran yang disebabkan oleh *chilling injury*. Untuk parameter warna dan respirasi tidak dapat dijadikan acuan telah terjadinya kelainan didalam buah tomat yang diakibatkan oleh suhu sensitif. Hal ini dikarenakan parameter warna dan respirasi menunjukkan ciri-ciri fisiologi yang baik untuk buah tomat tanpa adanya indikasi kemunduran kesegaran selama penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Artes, F., & Escriche, A. J. (1994). Intermittent Warming Reduces Chilling Injury and Decay of Tomato Fruit. *Journal of Food Science*, 59(5), 1053–1056. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb08188.x>
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: Desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 369–389. <https://doi.org/10.1080/10408391003626322>
- Brash, D. W., Charles, C. M., Wright, S., & Bycroft, B. L. (1995). Shelf-life of stored asparagus is strongly related to postharvest respiratory activity. *Postharvest Biology and Technology*, 5(1–2), 77–81. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)00017-M](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)00017-M)
- Efiuwewewere, B. J. O., & Thome, S. N. (1988). Development of chilling injury symptoms in stored tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 44(3), 215–226. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740440303>
- Fahmy, K., Nakano, K., & Violalita, F. (2015). Investigation on quantitative index of chilling injury in cucumber fruit based on the electrolyte leakage and malondialdehyde content. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 5(3), 222–225. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.5.3.532>
- Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., & Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: A review. *Journal of Food Engineering*, 52(2), 99–119. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00106-6)
- Kader, A. A. (2002). *Post Harvest Technology of Horticultural Crops - Adel A. April*, 1–515. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28507.98089>
- Khoo, H. E., Prasad, K. N., Kong, K. W., Jiang, Y., & Ismail, A. (2011). Carotenoids and their isomers: Color pigments in fruits and vegetables. In *Molecules* (Vol. 16, Issue 2, pp. 1710–1738). <https://doi.org/10.3390/molecules16021710>
- Luengwilai, K., Beckles, D. M., & Saltveit, M. E. (2012). Chilling-injury of harvested tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Micro-Tom fruit is reduced by temperature pre-treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.06.017>
- Patel, A., & Patel, B. (2016). Chilling Injury in Tropical and Subtropical Fruits : a Cold Storage Problem and Its Remedies : a Review Chilling Injury in Tropical and Subtropical Fruits : a Cold Storage Problem and Its Remedies : a Review. *International Journal of Science, Environment*, 5(4), 1882 – 1887.
- Paull, R. E., & Jung Chen, N. (2000). Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 21(1), 21–37. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00162-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00162-9)
- Saltveit, M. E. (2002). The rate of ion leakage from chilling-sensitive tissue does not immediately increase upon exposure to chilling temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 26(3), 295–304. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00049-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00049-2)
- Saltveit, M. E. (2005). Influence of heat shocks on the kinetics of chilling-induced ion leakage from tomato pericarp discs. *Postharvest Biology and Technology*, 36(1), 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.10.007>
- Sargent, S., & Moretti, C. (2016). The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. *Agricultural Research Service USDA*, 66, 581–587. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1127-0>
- Techavuthiporn, C., Nakano, K., & Maezawa, S. (2008). Prediction of ascorbic acid content in broccoli using a model equation of respiration. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 373–381. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.07.007>
- Villatoro, C., Echeverría, G., Graell, J., López, M. L., & Lara, I. (2008). Long-term storage of Pink Lady apples modifies volatile-involved enzyme activities: Consequences on production of volatile esters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(19), 9166–9174. <https://doi.org/10.1021/jf801098b>
- Zainal, P. W., Syukri, D., Fahmy, K., Imaizumi, T., Thammawong, M., Tsuta, M., Nagata, M., & Nakano, K. (2023). Lipidomic Profiling to Assess the Freshness of Stored Cabbage. *Food Analytical Methods*, 16(2). <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02422-z>